

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY



## AUTOREFERÁT K DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCI

*Jazyky pro tvorbu ontologií*

Studijní program: **Informační technologie**

Studijní obor: **Informatika a aplikovaná matematika**

Školitel: **doc. RNDr. Marie Duží, CSc.**

2012

Mgr. Martina Číhalová

## **Abstrakt**

Tato práce představuje transparentní intenzionální logiku (TIL) jako specifikační jazyk pro tvorbu ontologií. V rámci logického rámce TIL je ontologie specifikována především jako logika (hyper)intenzí. Práce podává přehled známých sémantických datových modelů a jazyků sémantického webu a z hlediska jejich expresivní síly je srovnává s TIL. Autorka práce vychází z teorie valenčních rámců sloves a přináší vlastní specifikaci ontologie událostí a procesů, záměru a akce vztahující se na rozhodování agentů. Dalším vlastním přínosem je srovnání klasifikace aktantů sloves dle valenčních slovníků VALLEX a VerbaLex s klasifikací tematických rolí J. Sowy. V rámci metodiky budování ontologie je podán rámcový návrh, jak postupovat při tvorbě ontologie v rámci určitého konceptuálního systému. Zhruba řečeno, stanovíme nejprve důležité primitivní pojmy systému, na základě kterých pak jsou definovány pojmy složené. Návrh určování ontologických typů entit vychází z lingvistických kategorií termínů vyjadřujících pojmy a pracovního rozdělení domény zájmu na její statickou a dynamickou část. Praktické ukázky v práci jsou uvedeny z případové studie inteligentního rozhodování agentů na dopravní infrastrukturu.

## **Abstract**

In this doctoral thesis I introduce Transparent Intensional Logic (TIL) as a specification language apt for ontology building. Within the logical framework of TIL I conceive of ontology as a logic of (hyper-)intensions. The thesis first briefly summarizes particular semantic data models and languages of semantic web in order to compare them with the expressive power of TIL. Another contribution of this work is the application of the theory of linguistic verb valency frames, because from the logical point of view verbs denote functions that can be applied to their arguments. Types of the arguments are determined by verb valencies. Thus verb valencies are used in the specification of events and processes, goals and actions related to agents' decision making. The comparison of particular actants (arguments of verbs viewed as functions) as specified in different valency dictionaries (VALLEX, VerbaLex) with the classification of Sowa's thematic roles is another contribution of this work. Finally, I propose a methodology of ontology building based on a conceptual system that consists in specifying primitive concepts of a domain from which derived concepts are defined. This methodology is illustrated by examples of agents' communication and decision making using a case study of a traffic system.

## Obsah

Abstrakt .....	i
Abstract .....	i
1. Úvod.....	2
1 Cíle práce .....	3
2 Ontologie a její obsah .....	3
3 Jazyky pro tvorbu ontologií.....	4
4 Ontologie procesů a událostí.....	8
5 Metodika budování ontologie .....	13
Publikace autora.....	17

## Úvod

Přirozený jazyk tvoří zřejmě nejzazší mez, v níž se pohybují naše úvahy o světě. Veškeré typy logik, jako je predikátová logika, různé modální, temporální, intensionální, atd. logiky jsou jen snahou zachytit explicitně vazby, které jsou implicitně již přítomny ve způsobu, jakým užíváme jazyka. Přirozený jazyk v tomto smyslu pak zcela jistě tvoří mez rovněž inteligentního chování agentů v multiagentním systému a vůbec systémů, kde komunikace hraje klíčovou roli. Z uživatelského hlediska jsou pak přednosti přirozeného jazyka zcela zřejmé. Právě z výše uvedených důvodů byla v disertační práci užitá pro formální specifikaci znalostí a ontologií Transparentní intensionální logika (dále jen TIL), která je v současné době tím nejvhodnějším specifikačním jazykem pro analýzu přirozeného jazyka. Jiné logické systémy založené na mnohem méně expresivní (např. predikátové) logice neumožňují analyzovat adekvátně propoziční a pojmové postoje, rozdíl mezi analytickými a empirickými znalostmi aj.

Explicitní vyjádření těchto aspektů se stává důležitým, jakmile chceme zachytit jemné rozdíly mezi užitím výrazu, tedy jeho významu, extenzionálně, intensionálně a hyperintensionálně. Teprve když dokážeme tyto rozdíly přesně analyzovat a definovat jednotlivé kontexty, můžeme formulovat extenzionální logiku hyperintenzí a modelovat například chování a usuzování agentů tak, aby nedocházelo k nežádoucím paradoxům a nekonzistencím. Disertační práce obsahuje představení TIL jako specifikačního jazyka pro tvorbu ontologií. V rámci logického rámce TIL je ontologie představena především jako logika (hyper)intenzí. Práce podává přehled známých sémantických datových modelů a jazyků sémantického webu a z hlediska jejich expresivní síly je srovnává s TIL. V práci je vycházeno z teorie valenčních rámců sloves, přičemž autorka přináší vlastní specifikaci ontologie událostí a procesů, záměru a akce vztahující se na rozhodování agentů. Dalším vlastním přínosem je srovnání klasifikace aktantů sloves dle valenčních slovníků VALLEX a VerbaLex s klasifikací tematických rolí J. Sowy. V rámci metodiky budování ontologie je podán rámcový návrh, jak postupovat při hledání vhodných pojmů a určování ontologických typů entit těmito pojmy identifikovanými. Návrh určování ontologických typů vychází z lingvistických kategorií termínů vyjadřujících pojmy a pracovního rozdělení domény zájmu na její statickou a dynamickou část. Praktické ukázky v práci jsou uvedeny z případové studie inteligentního rozhodování agentů na dopravní infrastrukturu.

## 1 Cíle práce

Disertační práce si klade za úkol dosažení následujících cílů:

- Představení problematiky ontologií z hlediska jejich obsahu a základní struktury vztahů mezi ontologickými entitami. Využití logického rámce TIL za účelem přístupu k ontologii jako k logice (hyper)intenzí.
- Popis známých jazyků pro tvorbu ontologií a specifikaci znalostí s ohledem na jejich vzájemné porovnání a srovnání jejich expresivní síly s transparentní intenzionální logikou (TIL).
- Představení teorie valenčních rámců sloves a porovnání různých typů klasifikací aktantů sloves (klasifikace dle valenčních slovníků VALLEX a VerbaLex, tematické role J. Sowy).
- Vlastní návrh ontologie událostí a procesů, která je založená na lingvistické teorii valenčních rámců sloves a logickém rámci TIL.
- Návrh jak postupovat při tvorbě ontologie a určování ontologických typů důležitých entit v rámci metodiky tvorby ontologie.

## 2 Ontologie a její obsah

V práci je představena ontologie jako strukturovaná sada definic, a to pojmů entit a jejich vzájemných vztahů, integritních omezení a speciálních axiómů. Ontologie zachycuje popisovanou oblast tak, aby ji bylo možno sdílet širší komunitou zainteresovaných uživatelů, aby podporovala korektní modelování reality, sémantickou interoperabilitu a automatické odvozování ve znalostních systémech.

Obsah ontologie zahrnuje:

- Pojmový (terminologický) slovník, který obsahuje:
  - primitivní pojmy,
  - složené pojmy, které jsou definovány pomocí pojmů primitivních v části integritní omezení analytického typu,
  - (nejdůležitější) deskriptivní atributy.
- Vztahy
  - Kontingentní relace (tj. vztahy) mezi entitami, např. vztah celek-část
  - Analytické relace mezi entitami (tj. rekvizity a esence, které zakládají ISA hierarchii)
- Integritní omezení
  - Analytická omezení, tedy pravidla, která platí nutně a nezávisle na okolnostech.
  - Pravidla vyjadřující nomické nutnosti
  - Pravidla vyjadřující běžné nutnosti.

### 3 Jazyky pro tvorbu ontologií

V práci jsou porovnány stávající jazyky pro tvorbu ontologií z hlediska jejich expresivity s logickým rámcem TIL. Jedná se o tyto jazyky: sémantické datové modely jako ER model a IFO schémata, dále jazyky sémantického webu jako RDF, KIF, SKIF a deskripční logika (DL), která definuje sémantiku jazyků založených na OWL.

#### 1. ER model

Základní modelovací konstrukty **ER modelu** jsou: *entita*, *vztah* a *atribut*.

- **Entita**

je základním objektem dané domény zájmu zpracovaným v příslušné databázi. Je to objekt reálného světa, který je možné jednoduše definovat a odlišit od objektů jiného typu. Entity se člení do různých *entitních množin* (v originále „*entity sets*“, správněji bychom však měli mluvit o entitních *typech*), kdy každou množinu určuje určitý predikát jako „projekt“, „oddělení“, „zaměstnanec“, apod. Tyto predikáty označují vlastnost, která je společná všem prvkům daného entitního typu. Entitní množiny nemusí být vzájemně disjunktní. Entitní množinu v ER diagramu reprezentuje čtverec. Entita ve vztahu může nabývat určité *role*. Tak například entita „osoba“ může ve vztahu „manželství“ nabývat role „manžela“ nebo „manželky“.

- **Vztah:**

matematická relace mezi  $n$  entitními množinami, čili množina  $n$ -tic:

$\{[e_1, e_2, \dots, e_n] \mid e_1 \in E_1, e_2 \in E_2, \dots, e_n \in E_n\}$ , přičemž  $E_i$  nemusí být dvě rozdílné třídy (např. vztah manželství je mezi dvěma stejnými entitními třídami „člověk“). Vztah je v ER diagramu reprezentován kosočtvercem. Vztahy mohou být vzhledem k entitám různé kardinality: 1:1, 1:N a M:N

- **Atribut:**

(v ER diagramu vyjádřený oválem) jakožto funkce přiřazující entitě, roli nebo vztahu hodnotu, která může popisovat konkrétní vlastnost nebo charakteristiku. Hodnoty jsou klasifikovány pomocí rozdílných tříd hodnot (value sets) jako například „barva“, „délka“ apod. Prvky první množiny jsou například „červená“, „zelená“ apod., druhé množiny „12“ aj.

Atribut tak může být formálně definován jako funkce, která mapuje třídy entit nebo vztahů do množiny hodnot nebo do Kartézského součinu třídy hodnot:

$$f: E_i \text{ nebo } R_i \rightarrow V_i \text{ nebo } V_{i1} \times V_{i2} \times \dots \times V_{in}$$

#### 2. IFO schémata

Základní modelovací konstrukty **IFO schémat** jsou: *objekty* a *fragmenty*

- **Objekt typu** jsou základem IFO modelu. Jsou zde tři základní druhy atomických typů a dva konstrukty pro rekursivní tvoření derivovaných typů. Atomické typy mohou být následující:

- tištitelný** (*printable*)

koresponduje s množinou hodnot v ER modelu a *deskriptivní sortou* u HIT atributů, viz dále v kapitole týkající se datového modelu HIT. Tištitelné typy jsou například: STRING, INTEGER, BOOLEAN, apod. V IFO schématu jsou tištitelné typy znázorněny čtvercem, uprostřed něhož je určitý název typu.

### **abstraktní (abstrakt)**

koresponduje s objekty domény, které nemají žádnou vnitřní strukturu (mohou mít ale samozřejmě podtypy i atributy). Tyto objekty jsou v IFO modelu znázorněny kosočtvercem s daným tokenem. Abstraktním typem je například PERSON, tj. z hlediska ER modelu se jedná o *entitní množinu*.

### **Volný typ (free)**

koresponduje s entitami obdrženými prostřednictvím ISA vztahů. Pokud například pomocí vztahu specializace abstraktního typu PERSON vytvoříme typ STUDENT, pak nový typ je volný. Volné typy jsou v IFO schématu znázorněny pomocí kruhu.

Derivované typy lze rekurzivně vytvářet pomocí **agregace** (vytváření (konečné) množiny objektů daného typu) a **kompozice** (dva různé typy jako části nějakého dalšího typu) atomických typů.

- **Fragmenty** jsou reprezentacemi funkcionálních vztahů. Vstupem i výstupem funkce reprezentující fragment je vždy nějaký příslušný typ.

Dále jsou v IFO modelu rozlišovány dva základní typy ISA vztahů:

#### **specializace**

je využívána pro specifikaci možných rolí instancí určitého typu a třídy nových typů vzniklých specializací se mohou překrývat. Specializací typu člověk mohou vzniknout typy student, zaměstnanec apod., přičemž instance typu student mohou být rovněž instancemi typu zaměstnanec.

#### **generalizace**

reprezentuje situaci, kdy jsou různé typy sjednoceny do typu obecnějšího, přičemž je požadováno, aby sjednocované typy byly vzájemně disjunktní (příklad: auto, loď, letadlo jsou sjednoceny do obecnějšího typu dopravní prostředek).

## **Jazyky sémantického webu**

Zdroj (Duží, Heimbürger, 2006) dělí Jazyky sémantického webu do následujících tří skupin:

- a) RDF a RDFS jazyky
- b) OIL, DAMT-ONT a DAML+OIL, které jsou založeny na OWL
- c) SKIF a Common Logic

Základní modelovací konstrukty jazyků sémantického webu jsou následující:

- **Třídy**

Označují množiny konkrétních objektů. Z logického hlediska se tedy jedná o *vlastnosti individuí* dané domény.

- **Vlastnosti** (OIL, OWL: **sloty**) (DL: **Role**)

Označují binární relace.

- **Facety**

Jde o integritní omezení na slotech.

Povolené třídy na slotech (tj., integritní omezení prostřednictvím *slot-value type*) se nazývají obor hodnot slotu (**range** of a slot). Naopak třídy, na nichž jsou sloty definovány, se nazývají definiční obor slotu (**domain** of the slot).

### 3. RDF

Je poměrně nízké expresivní síly, veškerý popis musí být redukován na tzv. RDF trojice (*triples*).  
RDF trojici tvoří následující komponenty:

- *Subjekt* - kterým je URI odkaz na zdroj nebo prázdný uzel
- *Predikát* - relace mezi subjektem a objektem (opět URI odkaz na zdroj)
- *Objekt* - kterým je URI odkaz na zdroj, literál (libovolný typ (integer, boolean, apod. definovaný v XML ,řetězec znaků) nebo prázdný uzel

### 4. RDFS

navíc poskytuje aparát pro popis vlastností RDF predikátů (jedná se o sloty) a vztahů mezi nimi, což RDF neumožňuje. Rozšíření tvoří tzv. třídy (*classes*) *rdfs:Resource* a *rdfs:Class*, které umožňují rozlišení mezi instancemi a jejich třídami.

Dále je umožněno definování hierarchií mezi třídami pomocí vlastností tříd a slotů, (tzv. *properties*), specifikace ISA hierarchií.

### 5. Deskripční logika:

Vyšší expresivní síla než RDFS, ale nemá prostředky pro nakládání se třídami jako s vlastnostmi. Jedná se v podstatě o podmnožinu jazyka predikátové logiky 1. řádu.

Umožňuje prostřednictvím A-boxů a T-boxů rozlišení intenzionálních znalostí (Tbox) od extenzionálních (Abox)

Příklady:

T-box (definice):  $\text{Woman} \equiv \text{Person} \cap \text{Female}$

A-box:  $\text{Female} \cap \text{Person}$  (ANNA)

### 6. KIF a SKIF:

Z KIF vychází jazyk Common logic s deklarativní sémantikou.

Umožňuje

- vyjádření metaznalostí
- rozlišení analytických tvrzení od kontingentních
- zmiňování výrazu

Obecně však nerozlišuje intenzionální a extenzionální kontext užití libovolného výrazu

### 7. Konceptuální grafy (CG)

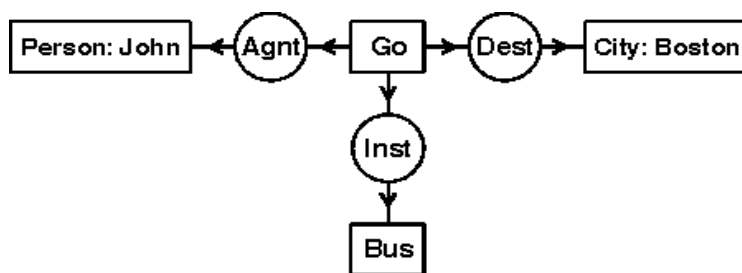
Základní modelovací konstrukty:

- Koncepty
- Konceptuální relace (vztahy)

Expresivní síla shodná s KIF



Příklad:



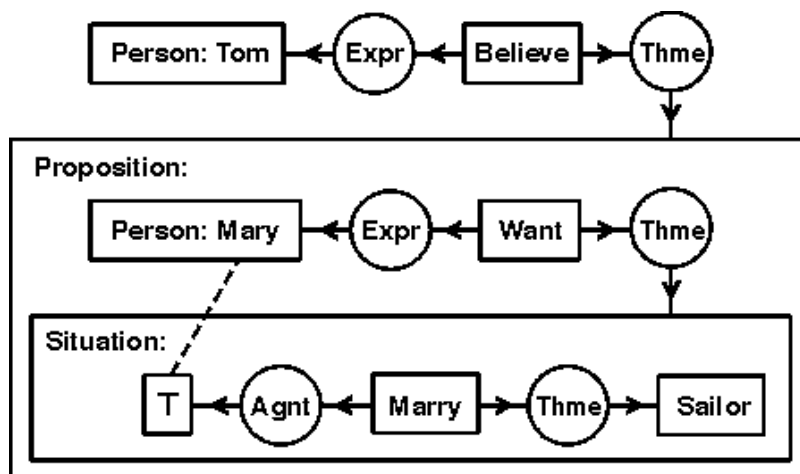
Obrázek 1: CG pro analýzu věty *John is going to Boston by bus.*

Koncepty: Person, Go a City, Bus,

konceptuální relace: Agnt, Dest, Inst.

Každá hrana  $a$  grafu  $g$  spojuje s konceptem nějaký vztah.

CG umožňují vyjádření propozičních a pojmových postojů, viz následující graf.



Obrázek 2:CG pro analýzu věty *Tom believes that Mary wants to marry a sailor*, zdroj: (Sowa 2010)

## 8. Transparentní intensionální logika a datový model HIT

Hyperintensionální, parciální, typovaný lambda kalkul

Nekonečná hierarchie typů

Základním pojmem je *Konstrukce* (abstraktní procedury, které jsou algoritmicky strukturovány)

- Schopnost pracovat s parcialitou, modalitami a temporalitou
- Rozlišení *hyper-intensionálního*, *intensionálního* a *extensionálního* kontextu
- Procedurální sémantika umožňuje přesně popsat ontologické entity, tj. vysoká expresivní síla

Atomické konstrukce jsou proměnné a Trivializace.

- *Proměnné*  $x, y, p, q, \dots$  konstruují entity v závislosti na valuaci, tedy v-konstruují.

- *Trivializace* má podobnou roli jako konstanta v programovacích jazycích, avšak s fixní interpretací. Je-li  $X$  entita, pak *Trivializace*  $^0X$  konstruuje prostě entitu  $X$ .

Složené konstrukce jsou Kompozice a Uzávěr.

- *Kompozice*  $[C \ C_1 \ \dots \ C_n]$  je procedura aplikace funkce  $f$  v-konstruované konstrukcí  $C$  na  $n$ -ticový argument  $\langle A_1, \dots, A_n \rangle$  v-konstruovaný konstrukcemi  $C_1, \dots, C_n$ . Kompozice je  $v$ -nevlastní (tj. nekonstruuje nic), nemá-li  $f$  hodnotu na argumentu  $\langle A_1, \dots, A_n \rangle$ , jinak  $v$ -konstruuje hodnotu  $f$  na tomto argumentu.
- *Uzávěr*  $[\lambda x_1 \dots x_n \ C]$  je procedura, která  $v$ -konstruuje funkci abstrakcí od hodnot proměnných  $x_1, \dots, x_n$  způsobem běžným v  $\lambda$ -kalkulech.
- Konečně konstrukce vyšších řádů mohou být provedeny nadvakrát. K tomu slouží *Double Exekuce*  $^2C$ , která se chová takto. Pokud  $C$   $v$ -konstruuje konstrukci  $D$  a  $D$   $v$ -konstruuje  $E$ , pak  $^2C$   $v$ -konstruuje  $E$ , jinak  $C$  nekonstruuje nic, je  $v$ -nevlastní.

## Datový model HIT

Rozlišuje **entitní** (dána výlučně nějakou *vlastností* (tj. intenzí)) a **deskriptivní** sorty (jakákoli rekurzivní, tj. reprezentovatelná množina).

### HIT atribut:

pokrývá konstrukt  $n$ -tice, množinový konstrukt a pokrývá také *vztahy mezi entitními sortami*. Je to dáno tím, že  $T_1, T_2$  v definici atributu mohou být  $n$ -tice sort. Tedy atributy jsou objekty typu

$$(\omega\tau \rightarrow ((T_1, \dots, T_m) \rightarrow (T_{m+1}, \dots, T_n))) \text{ resp.}$$

$$(\omega\tau \rightarrow (((T_1, \dots, T_m) \rightarrow (T_{m+1}, \dots, T_n)) \rightarrow o))$$

kde  $T_1, \dots, T_n$  jsou základní *uzlové typy schématu*, tj. sorty.

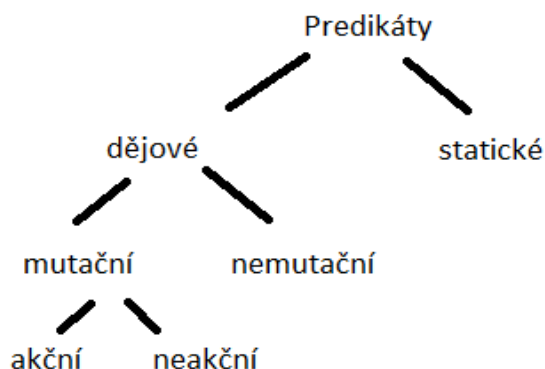
## 4 Ontologie procesů a událostí

V práci byly srovnány různé přístupy k ontologii procesů, jmenovitě přístupy Johna Sowy, zdroje (Kaneiwa, Iwazume, Fukuda, 2007), Pavla Tichého (2004), metodiky RUP (The Rational Unified Process) a Ivo Vondráka (2007).

Byl navržen vlastní přístup k ontologii procesů a událostí, který vychází z valenčních rámců sloves a logického rámce TIL.

**Valence** je v jazykovědě obecně chápána jako schopnost slovesa (či jiného slovního druhu) vázat na sebe další slova (aktanty) ze svého okolí.

Pojetí události vychází z lingvistické klasifikace slovesných predikátů:



Obrázek 3: Lingvistická klasifikace slovesných predikátů.

Vlastní ontologická klasifikace pak vychází z distinkce stav/přechod a z přihlédnutí k sémantickým funkcím slovesných predikátů. **Stavem** entity je nabytí nějaké její vlastnosti, které má určité trvání. **Přechod** pak znamená jednorázovou změnu stavu. Přechod představuje změnu, tj. určitou dynamiku v chování entity, přičemž to neznamena, že stav dynamický být nemůže. Stavby bývají vyjádřeny nedějovými nebo dějovými, ale vždy nemutačními predikáty. Dějové mutační predikáty pak vyjadřují nějaký přechod.

Samotný výraz predikátu **událost** nevyjadřuje. Pokud hovoříme o konkrétních událostech, vyjadřujeme je formou propozice, která má ve svém jádru pojem vyjádřený výrazem slovesného predikátu a obsahuje specifikaci časového intervalu, v němž proběhla. Pojmy událostí tak konstruují propozice označené *dějovými predikáty* (ať už mutačními či nemutačními), z ontologického hlediska jsou tyto propozice nazývány **děj**.

Z hlediska distinkce stav/přechod jsou za události považovány propozice označené prostřednictvím predikátů vyjadřujících *dynamický stav* (nemutační dějový predikát) nebo *přechod* (mutační dějový predikát). Právě ono napětí mezi distinkcí *stav/přechod* a *statický/dynamický* způsobuje, že ve stávajících ontologiích událostí nepanuje jednotná shoda.

Událost má *aktéra* (nebo skupinu aktérů) *děj* a *participanty*, kdy aktéry i participanty mohou být vědomý inteligentní agent, nevědomý objekt (předmět) či skupina předmětů konkrétního typu (strom, kamení) nebo nevědomý objekt abstraktní (zemětřesení, lavina). Přičemž si musíme být vědomi, že poslední typy objektů často splývají.

Za **proces** je považována z hlediska času ustálená posloupnost událostí, která je pro danou případovou studii stabilní a je tedy výhodné, aby ji zachycovala ontologie. Například procesem *předjíždění* rozumíme sekvenci událostí jako *aktér spouští blinkr*, *aktér mění směr jízdy*, *aktér objíždí překážku* apod.

V práci jsou dále v rámci ontologie událostí popsány typy akcí a rozhodování agentů v multiagentním systému (MAS).

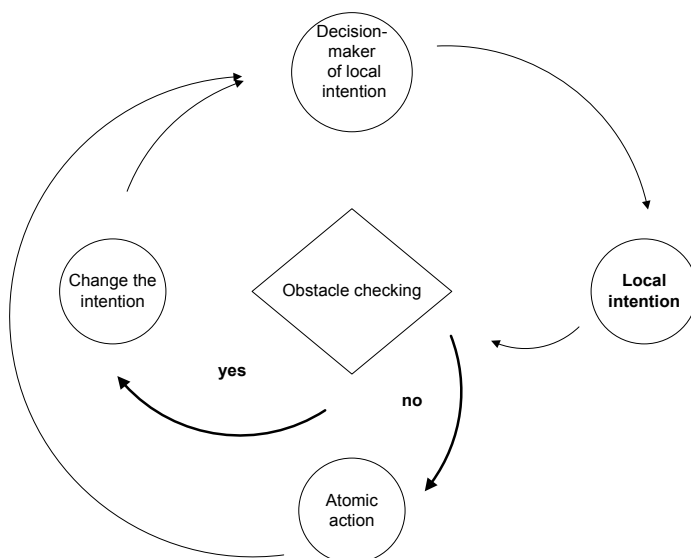
Typy akcí jsou následující:

- Aktivní akce, která je příčinou událostí způsobených inteligentním deliberativním aktérem nebo skupinou aktérů a spadá pod příbuzný pojem jednání.
- Reaktivní akce, která je příčinou událostí způsobených nevědomým objektem (předmětem) abstraktním objektem nebo skupinou předmětů, jako důsledek jejich vnitřních stavů a vlivu okolí.
- Podmíněná změna je změna stavu agenta či objektu, která se stala samovolně bez vědomí agenta na základě jeho vnitřního stavu a vlivů okolí (zbělet apod.).

Aktivní akce agentů pak mohou být čistě *záměrné* i *nezáměrné*. Tak například událost *Petr rozbil sklenici* může být záměrná, jestliže Petr měl před touto událostí *záměr* sklenici rozbít, nebo nezáměrná, pokud tak Petr učinil nechtěně například při utírání nádobí. Vyjdeme-li z klasifikace sloves, pak aktivní i reaktivní akci vyjadřují slovesné *dějové mutační predikáty akční*, jako např. „rozbít“, „rozběhnout se“, „spadnout“ aj. a podmíněnou změnu pak *dějové mutační predikáty neakční* jako je „zbělet“, „zvadnout“ apod.

Z hlediska plánování v MAS a inteligentního chování agentů je pak důležité právě generování záměrů agentů způsobujících aktivní záměrné akce. Toto generování se pak děje na základě nějakého plánu a cílů agenta. Z hlediska MAS a akcí inteligentních agentů je velmi užitečné rozlišovat *stavy* a *přechody*, neboť záměrnou akci agenta se uskuteční právě přechod. Aby agent takovou akci mohl provést, musí mít záměr vedoucí k jeho novému stavu, který spustí příslušnou akci, pokud on i jeho okolí splňují ontologií definované podmínky k tomu, aby akce mohla být provedena. Tyto podmínky provedení akce pak mohou být ontologií specifikovány jako určitá pravidla.

V článku (Číhalová, Menšík, 2008) jsme publikovali vlastní návrh rozhodování agentů a generování akcí na základě *záměru*. Záměr agenta tvoří jeho aktuální podcíl. Ten se postupně naplňuje provedením příslušné sekvence jednoduchých atomických akcí, které jsou důsledkem nějakého záměru. Před vykonáním akce musí agent provést kontrolu (*obstacle checking*), zda neexistuje obecně situace, která by provedení akce bránila.



Obrázek 4: Generování akce agenta na základě jeho záměru.

Participanty události jsou z lingvistického hlediska určeny valencí slovesa (tj, jeho aktanty), které označuje děj. V práci je proto nejprve je představena teorie valenčních rámců sloves a klasifikace sloves dle VALLEXu, VerbaLexu a tematických rolí Johna Sowy. Pokud srovnáme skupinu sémantických rolí z VerbaLexu ART(ifact), OBJ(ect), ACT(ivity), EVEN(t) se skupinou rolí AG(ens), ATTR(ibute), CAUSE, PAT(ient), pak pojmenování rolí první skupiny vychází ze snahy o postižení nějaké ontologické esence. Z logického hlediska by šlo o klasifikaci entit na základě příslušnosti do určitých tříd, které by mohly tvořit tzv. entitní sorty. Pojmenování rolí jako je AG, ATTR apod. pak vychází ze snahy o zohlednění jejich funkčního vztahu ke slovesnému predikátu, tedy až zde se jedná o role ve vlastním slova smyslu. Porovnání těchto různých klasifikací aktantů vychází z rozlišení tzv. **sémantického a funkčního** přístupu k vydělování rolí. Na pomezí mezi oběma přístupy pak stojí aktanty zastupující různá místní, měrová a časová určení. Z logického hlediska je vhodné klasifikaci aktantů provádět podle funkce, kterou zaujímají vůči slovesnému predikátu. Získáme tak jeho fakultativní a obligatorní argumenty. Následující tabulka představuje porovnání a mapování na sebe různých typů aktantů VALLEXU, VerbaLexu a Tematických rolí Johna Sowy, která podlého funkčnímu hledisku:

VALLEX	VerbaLex	Tematické role
ACT	AG	Agnt Efct
PAT	PAT	Ptnt Thme Rslt
ADDR	REC	Rcpt
EXT	EXT	Meas
MEANS	INST	Inst Med
MANN	MAN ATTR	Manr (Chrc)
LOC DIR1 DIR2 DIR3	LOC	Dest
THL TTIL	TIME	Duration Completion

TWHEN		PointInTime
TSIN		Start
CAUS	CAUSE	
INTT	INT	
ACMP	SOC	(Accm)
AIM	REAS	
BEN		Benf
ORIG		Matter
Spadá pod typ PAT	POS	

Poté je představena vlastní základní klasifikace aktantů, která je vhodná pro účely MAS, kdy tyto participanty mohou být obligatorní či fakultativní pro daný děj.

PAT - Patiens (může být typu vědomý agent, objekt) děje

ADR – Adresát děje

BEN - Beneficient (někdo, kdo má příjem z nějaké činnosti) děje

MAN – Způsob provedení děje (může být pak určitého typu jako míra, váha apod. dle ontologie)

INST – nástroj, jehož prostřednictvím děj proběhl

DIR1 - Směr děje typu *odkud*

DIR2 - Směr děje typu *kudy*

DIR3 - Směr děje typu *kam*

Obligatorní participanty budou z logického hlediska představovat rekvizity samotného děje, fakultativní participanty pak jeho typické vlastnosti. Nyní bude definován nový typ rekvizity mezi dějem a jeho participanty (kdy rekvizitou z hlediska TIL je relace mezi intenzemi, která je polymorfního typu  $(\circ\alpha_{\tau_0}\beta_{\tau_0})$ , kde je možnost, že  $\alpha=\beta$ ):

Nový typ rekvizity:

$$[{}^0Req_d q d] =_{df} \forall w \forall t \forall x [[{}^0Does_{wt} x d] \supset [q = {}^0Part\_d]]$$

$$\text{kde } q \rightarrow_v \alpha_i; d \rightarrow_v \delta; x \rightarrow_v 1; Does / (\circ 1 \delta)_{\tau_0}$$

Typ  $\delta$  je zkratkou pro typ *děje*:

$(\circ 1(\alpha_1, \dots, \alpha_n))$ , kde  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ , je seznam participantů děje (případně různých typů), označme jej  $Part\_d$ , kde  $d$  je příslušný děj.

Analýza věty *Petr jede vlakem do Brna* pak je následující:

$$\lambda w \lambda t \left[ \left[ {}^0\text{Does}_{wt} \text{ } {}^0\text{Petr } {}^0\text{Jede} \right] \wedge \exists x \left[ \left[ {}^0\text{Vlak}_{wt} x \right] \wedge \left[ {}^0\text{Vlak} = {}^0\text{INST} \right] \wedge \left[ {}^0\text{Vlak} = {}^0\text{Part\_Jede}_i \right] \right] \wedge \right. \\ \left. \wedge \left[ {}^0\text{Brno} = {}^0\text{DIR3} \right] \wedge \left[ {}^0\text{Brno} = {}^0\text{Part\_Jede}_j \right] \right]$$

Záměr agenta pak vyjádříme pomocí vztahu *Want*:

*Agent\_A chce jet do Brna.*

$$\lambda w \lambda t \left[ {}^0\text{Want}_{wt} \text{ } {}^0\text{Agent\_A } \lambda w \lambda t \left[ \left[ {}^0\text{Does}_{wt} \text{ } {}^0\text{Agent\_A } {}^0\text{Go} \right] \wedge \left[ {}^0\text{DIR3} = {}^0\text{Brno} \right] \wedge \left[ {}^0\text{Brno} = {}^0\text{Part\_Jede}_i \right] \right] \right]$$

## 5 Metodika budování ontologie

V práci jsou představeny metodiky budování ontologie, jako je TOVE (TOronto Virtual Enterprise), KAKTUS, METHONTOLOGY. Žádná ze stávajících metodik však neposkytuje bližší návod, jak pojmy do ontologie získat a jak dosáhnout adekvátnosti věcného obsahu ontologie, to jest jak hledat vhodné pojmy s ohledem na danou doménu a její úkoly. Právě toto se tak stává dalším z cílů práce.

Ontologie specifikovaná v TIL je tvořena několika základními úrovněmi, které se vážou k následujícím aktivitám při jejím vytváření:

1. Zvolení báze typů
2. Specifikace statické části domény
3. Specifikace dynamické části domény
4. Specifikace vztahů vyšší úrovně (vztahů celek-část, ISA hierarchie, rekvizity)
5. Specifikace pravidel

Při hledání relevantních pojmů do ontologie pomůže rozdělení domény na statickou a dynamickou část (rozdělení není zcela ostré). Toto rozdělení vychází z všeobecného chápání každého systému jako souboru prvků a vazeb mezi nimi, které jsou účelové vzhledem k funkci systému. Základní prvky jsou statickou částí, vazby mezi nimi pak vytvářejí právě funkčnost, kterou chápeme jako dynamický aspekt.

Statická část systému tak zahrnuje pojmy typických objektů dané domény. Pojmy týkající se dynamické části systému objevíme tak, že se zamyslíme nad typickými situacemi, které v systému mohou nastat a nad problémy, které má náš systém řešit. Získáme tak důležité atributy a vztahy a v případě ontologií týkajících se kontextu umělé inteligence především pravidla.

Velkým problémem při tvorbě ontologie bývá určení ontologické kategorie pojmů, tj. zda se jedná o pojmy individua, vztahu, atributu, apod. V práci je uveden návrh, jak pojmům přiřadit ontologické typy identifikovaných entit s ohledem na lingvistickou kategorii termínů, které je vyjadřují. Bude ukázáno, jak pro rozlišení některých ontologických typů může pomoci rozlišení mezi statickou a dynamickou částí systému.

### Individuum 1

To, zda daný pojem bude konstruovat entitu typu individuum, záleží na granularitě dané ontologie. Za individuum je vhodné považovat entity, kterým může být přiděleno vlastní jméno nebo nějaký jedinečný identifikátor. Individua jsou v podstatě „holá“, což znamená, že abstrahujeme od všech náhodných rysů, které právě mají. Tyto entity pak mohou nabývat různých vlastností a vstupovat do vztahů. Pokud daná případová studie

obsahuje konkrétní individua, která nabývají neslučitelných vlastností, lze je rozlišit na základě sortování.

### Individuový úřad $t_{\tau\omega}$

Příkladem jsou *objekty* označené výrazy jako *nejvyšší hora České republiky*, *prezident České republiky*, *starosta města Olomouc*. Liší se od vlastností (jako „být starostou“) tím, že v závislosti na světech a časech nevracejí množinu individuí, ale nanejvýš jedno individuum.

Lingvisticky se jedná o podstatné jméno nebo skupiny jmen, ze syntaktického hlediska bývají na pozici subjektu nebo předmětu (*Prezident ČR navštívil Gruzii*, *Premiér navštívil Prezidenta ČR*).

### Vlastnost individuí $(ot)_{\tau\omega}$

Termín, který jsme zvyklí považovat za označující nějakou vlastnost, většinou bývá z lingvistického hlediska přídavné nebo podstatné jméno. Podstatné jméno pak většinou vyjadřuje nějakou esenci nezávislou na časových okolnostech, jako například *člověk*, *pes*, *vozidlo*, apod. Právě tyto pojmy tvoří z logického hlediska pravé vlastnosti. Ve větách v nichž se vyskytují, zauímají pozici subjektu nebo předmětu.

Vlastnost být člověkem nebo psem má daná entita po celou dobu své existence na rozdíl od vlastností vyjádřených termíny jako *mladý*, *hezký*, *rychlý*, aj. Spadání entit pod tyto pojmy závisí na časových okolnostech nebo je relativní vzhledem k nějaké entitě. Tyto výrazy, ač by se to na první pohled mohlo zdát, z logického hlediska nemusí označovat pouze vlastnostmi. Může se jednat o deskriptivní sorty nebo různé typy modifikátorů, viz dále. Často se jedná o fuzzy pojmy, a z tohoto důvodu je potřeba provést určitou formu defazifikace. Tou může být například specifikace konkrétní škály hodnot, které tvoří populaci deskriptivní sorty nebo zavedení integritního omezení na ontologický typ, který modifikátor modifikuje (pak hovoříme většinou o modifikátorech vlastností).

Další skupinu, kterou jsme zvyklí chápat jako vlastnost, tvoří přídavná jména jako *červený*, *kulatý*. Ze syntaktického hlediska jde o přívlastky shodné rozvíjející podstatné jméno.<sup>1</sup> Tyto termíny mohou vyjadřovat logickou vlastnost, ale také hodnotu nějakého atributu jako je *barva individua*, *tvar individua*. Pokud v dané případové studii se jedná o trvalé aspekty individuí, pak se jedná o statickou část ontologie a z ontologického hlediska je vhodné tyto pojmy klasifikovat jako vlastnost.

Pravou vlastnost lze od modifikátoru nebo jiné ontologické entity rozlišit tak, že aplikujeme pracovní rozdělení domény zájmu na statickou a dynamickou část. Vlastnosti se pak týkají právě statické části.

### Modifikátory $(\alpha_{\tau\omega} \alpha_{\tau\omega})$ , kde $\alpha$ je objekt libovolného typu

Ze syntaktického hlediska se jedná o příslovečná určení (způsobu, míry, apod.) Z hlediska slovního druhu o přídavná jména nebo adverbia. Budeme rozlišovat tyto skupiny modifikátorů, podle toho, který ontologický typ modifikují:

<sup>1</sup> Pozor, přívlastky neshodné typu: děti *učitele*, reportáž *lékaře*, vyjadřují z logického hlediska vlastnosti a mohou se v jiných spojeních objevovat na pozici subjektu nebo předmětu.



### Modifikátor vlastnosti $((\alpha\iota)_{\tau\omega})(\alpha\iota)_{\tau\omega}$

Z hlediska slovního druhu se jedná o přídavné jméno modifikující podstatné jméno, tj. malý *slon*, apod.).

Modifikátor míry vlastnosti je typu  $((((\alpha\iota)_{\tau\omega})(\alpha\iota)_{\tau\omega})((\alpha\iota)_{\tau\omega})(\alpha\iota)_{\tau\omega})$ .

Z lingvistického hlediska se jedná o modifikátor modifikátoru, jako například „*velmi starý*“. Zavedeme-li pro přehlednost zkratku pro typ vlastnosti individuí  $\pi$ , pak typ tohoto modifikátoru je  $((\pi\pi)(\pi\pi))$ . Aplikujeme-li tento modifikátor modifikátoru nejprve na modifikátor *Starý* a pak na vlastnost být slonem, dostaneme konstrukci vlastnosti být velmi starým slonem:

$\lambda w \lambda t \lambda x [[^0Velmi ^0Starý] ^0Slon]_{wt} x$ .

Typy: *Velmi*/(( $\pi\pi$ )( $\pi\pi$ )); *Starý*/( $\pi\pi$ ); *Slon*/ $\pi$ ;  $x \rightarrow_v \iota$ .

V ontologiích zaměřených na přirozený jazyk, například pro analýzu textu, má jistě smysl zavádět tento ontologický typ. V jiných doménách zájmu však nedoporučujeme takový modifikátor zavádět a namísto toho míru vlastnosti specifikovat přímo modifikátorem vlastnosti, například prostřednictvím nějakého jeho škálování (*starý\_rozmezí 10-20 let* apod.)

### Atribut $(\alpha\beta)_{\tau\omega}$

Termín atribut bývá používán pro vlastnosti, ale jak už bylo na několika místech uvedeno, pojmáme atribut ve shodě se zdrojem (Duží 2000), kdy hovoříme-li o atributu, tak nás zajímá jeho výstupní hodnota. Atributem je tedy například *plat osoby*, *adresa osoby* apod. Jde tedy o funkci, která v závislosti na světě a čase vrací nějakou konkrétní hodnotu. Jde o intenzi, neboť hodnota atributu se může měnit. Důležité atributy objevíme při zkoumání dynamické stránky dané domény. Tato stránka s sebou do ontologie přináší také různé role entit a vztahy mezi nimi. Ve vztahu spolu entity mohou být, nebo nebýt, ale u atributu nás zajímá jeho hodnota, kterou je nejčastěji nějaký prvek deskriptivní sorty.

### Vztah $(\alpha\beta_1 \dots \beta_n)_{\tau\omega}$

Transitivní slovesa jako *mít rád*, *hledat*, označují vztahy typu  $(\alpha\iota\alpha)_{\tau\omega}$ . Vztahy mohou být mezi entitami různého typu, nejen mezi individui. Vztahy v doméně zájmu objevíme tak, že budeme zkoumat, jak se entity chovají k jiným entitám, v jakých situacích se vůči jiným entitám nacházejí. Ontologie by měla zachycovat případné důležité vlastnosti vztahů jako je symetrie, asymetrie, reflexivita, tranzitivita apod. Při specifikaci událostí pak narazíme na důležité vztahy participantů typu  $(\alpha\iota\delta)_{\tau\omega}$ .

## Použitá literatura

Abiteboul, S., Hull, R. (1987): IFO: A Formal Semantic Database Model, In *Journal ACM Transactions on Database Systems (TODS)* 4, 525-565.

Baader F., Calvanese D., McGuinness D., Nardi D., Patel-Schneider P. (2003): *The Description Logic Handbook*. Cambridge: University Press.

Číhalová, M., Menšík, M. (2008): An Outline of Plan Generation and Plan-Based Decision Making in Multi-Agent System. In *WOFEX*, eds. V. Snášel, 254-269. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava. ISBN 978-80-248-1807-8.

Číhalová, M., Duží, M., Menšík, M. (2009): Tvorba ontologií z pohledu logiky. In sborníku Chlapek, D. (eds): *DATAKON*. Praha: Oeconomica, 171-181.

Číhalová, M. Ďuráková, D., Hrubá, L., Rapant, P. (2009): Methodology of Ontology Building. In *Advances in Geoinformation Technologies*, eds. Horát et al, 1-10. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava.

Číhalová, M., Duží, M., Menšík, M., Vích, L. (2011): Process Ontology. In sborníku *RASLAN*, eds. P. Sojka, 77-88. Brno: CNP MUNI. ISBN 978-80-7399-246-0.

Číhalová, M., Menšík, M. (2011): TIL jako jazyk pro tvorbu ontologií. In *Kognice a umělý život*, eds. J. Kelemen, V. Kvasnička, J. Rybár, 53-59. Opava: Slezská universita..

Daneš, F., Grepl, M., Hlavsa, Z. (1987): *Mluvnice češtiny 3. Skladba*. Praha: Academia.

Duží, M. (2000): *Konceptuální modelování - datový model HIT*. Opava: Slezská univerzita v Opavě.

Duží, M. (2002): *Logical Foundations of Conceptual modelling*, habilitační práce. Ostrava: VSB-Technická Universita.

Duží, M., Heimbürger A. (2006): Web Ontology Languages: Theory and practice, will they ever meet?. In *Information Modelling and Knowledge Bases XVII*, eds. Y. Kiyoki, H. Jaakkola, H. Kangassalo, 20-37. Amsterdam: IOS Press. ISBN 1-58603-591-6

Genesereth, M. et. al. (2011): *Knowledge Interchange Format*. [Online] draft proposed American National Standard (dpANS), NCITS.T2/98-004. URL: <http://logic.stanford.edu/KIF/dpans.html> . [Citace: 1. 6. 2011]

Hayes, P., Menzel, Ch. (2001): *A Semantics for the Knowledge Interchange Format*.

URL: <http://www.w3c.hu/forditasok/RDF/cached/HayesMenzel-SKIF-IJCAI2001.pdf> [Citace: 1. 6. 2011]

Horrocks, I., Patel-Schneider et al (2004): *Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML*. W3C Member Submission. SWRL. URL: <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> [Citace: 1. 6. 2011]

Chen, P. P. (1976): The Entity-Relationship Model: towards a Unified View of Data. In proceedings *ACM Transactions on Database Systems* 1, 9-36.

Chen, P. P. (2002): *Entity-Relationship Modeling*.

URL: [http://www.csc.lsu.edu/~chen/pdf/Chen\\_Pioneers.pdf](http://www.csc.lsu.edu/~chen/pdf/Chen_Pioneers.pdf). [Citace: 21. 6. 2011]

Kaneiwa, K., Iwazume, M., Fukuda, K. (2007): An upper Ontology for Event Classifications and Relations. In *AI'07 Proceedings of the 20th Australian joint conference on Advances in artificial intelligence*, 394-403. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.

Lopatková, M., Žabokrtský, Z., Kettnerová, V. (2008): *Valenční slovník českých sloves*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1467-0.

Lopatková, M., Žabokrtský, Z., Kettnerová, V. (2006): *VALLEX 2.5. – Logical structure of the lexicon*. URL: [http://ufal.mff.cuni.cz/vallex/2.5/doc/structure\\_en.html#sec:frame](http://ufal.mff.cuni.cz/vallex/2.5/doc/structure_en.html#sec:frame). [Citace: 1. 6. 2011]

Lotko, E. (2003): *Slovník lingvistických termínů pro filology*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 80-244-0720-5.

Sowa, J. F. (2000): *Knowledge representation*. Pacific Grove: Brooks/Cole.

Sowa, J. F. (2010): *Conceptual Graphs*.

URL: [http://www.jfsowa.com/cg/cg\\_hbook.pdf](http://www.jfsowa.com/cg/cg_hbook.pdf). [Citace: 1. 6. 2011]

(Sowa 1): Sowa, J. F.: *Processes and Causality*. URL: <http://www.jfsowa.com/ontology/causal.htm>. [Citace: 1. 6. 2011]

(Sowa 2): Sowa, J. F.: *Thematic roles*. URL: <http://www.jfsowa.com/ontology/roles.htm>. [Citace: 1. 6. 2011]

Vondrák, I. (2007): Business Process modeling. In *Information Modelling and Knowledge Bases XVII*, Duží Marie, Kiyoki Yasushi, JAAKKOLA Hannu, KANGASSALO Hannu (eds.), Amsterdam: IOS Press, 2007, ISBN 978-1-58603-710-9

Web: *Concepts: The Underlying Model of the RUP*

URL: [http://www.upedu.org/process/gcncpt/co\\_morop.htm](http://www.upedu.org/process/gcncpt/co_morop.htm)

## Publikace autora

### 2011

1. Duží, M., Číhalová, M., Menšík, M., Vích, L. (2011): Process ontology. In sborníku *RASLAN 2010*, eds. Sojka, P., 77-88. Brno: CNP MUNI. ISBN 978-80-7399-246-0
2. Duží, M., Číhalová, M., Menšík, M. (2011): Ontology as a logic of intensions. In *Information Modelling and Knowledge Bases XXII*, eds. A. Heimbürger A., Y. Kiyoki, T. Tokuda, H. Jaakkola, N. Yoshida, 1-20. Amsterdam: IOS Press. ISBN 978-1-60750-689-8
3. Kožusznik, J., Štolfa, S., Duží, M., Košinár, M., Číhalová, M. (2011): Know How and Know What for Software Processes. In *Journal Communications in Computer and Information Science*, 178-192.
4. Duží, M., Menšík, M., Číhalová, M., Dostálová L. (2011): E-learning support for logic education. In sborníku *CCIS 194*, eds. E. Ariwa, E. El-Quawasmeh, 560-568. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

5. Číhalová, M., Duží, M., Menšík, M. (2011): Communication in a Multi-Agent system Based on Transparent Intensional Logic. In sborníku *MENDEL 2011*, eds. R. Matoušek, 477-485. Brno: VUT.
6. Číhalová, M., Menšík, M. (2011): TIL jako jazyk pro tvorbu ontologií. In *Kognice a umělý život*, eds. J. Kelemen, V. Kvasnička, J. Rybár, 53-59. Opava: Slezská universita.

## 2010

7. Číhalová, M. Menšík, M., Frydrych, T., Kohut, O. (2010): Transparentní Intensionální Logika v multiagentních systémech. In *Kognice a umělý život X*, eds. J. Kelemen, V. Kvasnička, 87-91. Opava: Slezská univerzita v Opave. ISBN 978-80-7248-589-5
8. Číhalová, M. Menšík, M., Ciprich, N.: Logic for Knowledge Base Representation. In sborníku *Informacné Technológie - Aplikácie a Teória ITAT 2010*, eds. D. Pardubská, 39-46. Smrekovica: Pont s.r.o. ISBN 978-80-970179-3-4
9. Štolfa, S., Kožusznik, J., Košinár, M., Duží, M., Číhalová, M., Vondrák, I. (2010): Building Process Definition with Ontology Background. In *proceedings 2010 International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management Applications (CISIM)*, eds. A. Abraham, K. Saeed, V. Snášel, 328-334. Krakow, Poland. ISBN, 978-1-4244- 7817-0
10. Duží, M., Číhalová, M., Menšík, M. (2010): Ontology as a Logic of Intentions. In *Information Modelling and Knowledge Bases XXII*. eds. Y. Kiyoki, T. Tokuda, H. Jaakkola, N. Yoshida, A. Heimbürger A., 1-20. Amsterdam: IOS Press.
11. Menšík, M., Číhalová, M., Vích, L., Schuster, V.: Jak automaticky vyhodnocovat správnost formalizací věty z přirozeného jazyka do PL1. In sborníku *ORGANON VII*, Plzeň: Západočeská univerzita, to appear.
12. Číhalová, M., Menšík, M., Matějičný, V.: 3D vizualizace modelu predikátové logiky. In sborníku *ORGANON VII*, Plzeň: Západočeská univerzita, to appear.

## 2009

13. Menšík, M., Číhalová, M., Miketa, T. (2009): eLogika a statistiky vedené nad testy. In sborníku *Organon VI*, eds. L. Dostálová, K. Šebela, 85-94. Plzeň: Západočeská univerzita. ISBN 978-80-7043-840-4
14. Číhalová, M., Menšík, M. (2009): *Turingův test a jeho výsledky ve vztahu k pojmu myšlení*. In sborníku *Kognice a umělý život IX*, eds. J. Kelemen, V. Kvasnička, J. Rybár, 61-68. Opava: Slezská universita. ISBN 978-80-7248-516-1
15. Duží, M., Číhalová, M., Menšík, M. (2009): Tvorba ontologií z pohledu logiky. In sborníku *DATAKON 2009*, eds. D. Chlapek, 171-181. Praha: Oeconomica.

16. Duží, M., Číhalová, M., Ciprich, N., Menšík, M. (2009): Agents' Reasoning Using TIL-Script and Prolog. In *19th European-Japanese Conference on Information Modelling and Knowledge Bases*, eds. T. Tokuda, Y. Kiyoki, H. Jaakkola, T. Welzer, 137-156. Družovec, Slovenia: University of Maribor. ISBN 978-961-248-162-9
17. Duží, M., Číhalová, M., Menšík, M., Ciprich, N., Frydrych, T. (2009): Deductive Reasoning Using TIL. In sborníku *RASLAN'09, Recent Advances in Slavonic Natural Language Processing*, eds. P. Sojka, A. Horák, 25-38. Brno: Masarykova universita. ISBN 978-80-210-5048-8
18. Číhalová, M., Ďuráková, D., Hrubá, L., Rapant, P. (2009): Methodology of Ontology Building. In *Advances in Geoinformation Technologies*, eds. Horát et al, 1-10. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava.

## 2008

1. Číhalová, M. (2008): Podmínky racionality reflektované z pozice poznávajícího subjektu. In *Filosofický časopis*, vol. 56, č. 2008/6, 921-930.
2. Číhalová, M., Ďuráková, D., Hrubá, L., Rapant, P. (2008): Building of Traffic Infrastructure Ontology for MAS. In elektronickém sborníku *GIS Ostrava 2008*. Ostrava: Technical University of Ostrava. ISBN: 978-80-254-1340-1
3. Číhalová, M., Menšík, M. (2008): An Outline of Plan Generation and Plan-Based Decision Making in Multi-Agent System. In sborníku *WOFEX*, eds. V. Snášel, 254-269. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava. ISBN 978-80-248-1807-8.
4. Duží, M., Ciprich, N., Menšík, M., Číhalová, M. (2008): TIL and Logic Programming. In sborníku *Raslan 2008*, eds. P. Sojka, 17-30. Brno: Masarykova universita. ISBN 978-80-210-4741-9
5. Duží, M., Dostálová, L., Lang, J., Číhalová, M., Menšík, M., Raclavský, J., Šebela, K. (2008): Elektronická databáze příkladů z logiky. In sborníku *Pedagogický software 2008*, eds. V. Řehout, 147-149. České Budějovice: Scientific Publishing. ISBN 80-85645-59-9